



Docket No. 979-037

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s) : Schmidt
Serial No. : 10/692,308
Filed : October 22, 2003
For : SUPER CONDUCTING CABLE CONDUCTOR WITH....

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. 1.8a)

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached Communication, Certified Copy of Priority Document, and Return Postcard along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, Alexandria, V.A.. 22313.

Respectfully submitted,

SOFER & HAROUN, L.L.P.

By: 

Sandra Cirillo

Date: 11/24/03

Mailing Address:

SOFER & HAROUN, L.L.P.
317 Madison Avenue, Suite 910
New York, New York 10017
Tel:(212)697-2800
Fax:(212)697-3004



Docket No.: 979-037

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

-----X
In re Application of :
Schmidt :
Serial No.: 10/692,308 :
Filed: October 22, 2003 :
For: SUPER CONDUCTING CABLE CONDUCTOR WITH :
REBCO-COATED CONDUCTOR ELEMENTS :
-----X

COMMUNICATION

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

SIR:

In connection with the above-identified matter, enclosed please find a Certified Copy of Priority Document.

In the event that any fees or charges are deemed necessary in connection with the application at the present time, the same may be charged to Deposit Account No. 19-2825, Order No.: 979-037.

Respectfully submitted,

SOFER & HAROUN, LLP

By _____

Joseph Sofer, Esq.

Reg. No. 34,438

317 Madison Avenue, Suite 910

New York, New York 10017

(212) 697-2800

Dated: November 24, 2003

18

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 49 550.5

Anmeldetag: 23. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: Nexans SuperConductors GmbH,
Hürth/DE

Bezeichnung: Supraleitender Kabelleiter mit SEBCO-
beschichteten Leiterelementen

IPC: H 01 B 12/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag


Wehner

Patentansprüche

1. Supraleitender Kabelleiter
dadurch gekennzeichnet,
5 **dass** der supraleitende Kabelleiter ein Trageelement enthält, auf das mindestens eine Lage aus zwei oder mehreren supraleitenden Leiterelementen aufgewickelt ist, wobei die einzelnen supraleitenden Leiterelemente jeder Lage nebeneinander angeordnet sind, und die supraleitenden Leiterelemente ein bandförmiges Substrat, das mit einem supraleitenden Material auf Basis von Seltenerd-Bariumcuprat beschichtet ist, enthält.
10
2. Supraleitender Kabelleiter nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass in dem Seltenerdbariumcuprat die Seltenerdkomponente Yttrium ist
15 oder Yttrium enthält.
3. Supraleitender Kabelleiter nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Seltenerdbariumcuprat mindestens ein weiteres Element ausgewählt unter Be, Mg, Ca, Sr, Zn, Cd, Sc, Zr, Hf, Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Ag, Au, Hg,
20 Ti, Pb, Bi, Ti, S und F enthält.
4. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
25 **dass** die Schicht aus Seltenerdbariumcuprat eine biaxiale Orientierung aufweist.
5. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
30 **dass** als Substrat für das Leiterelement ein Substrat verwendet wird, das keine Gitteranpassung für die Texturierung der Schicht aus supraleitendem Material aufweist.

- 5
6. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Kabelleiter 4 bis 6 Lagen aus supraleitenden Leiterelementen aufweist.
- 10
7. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens zwischen zwei Lagen aus supraleitenden Leiterelementen eine elektrisch isolierende Schicht vorgesehen ist.
- 15
8. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen Trageelement und erster Lage aus supraleitenden Leiterelementen eine Isolierschicht vorgesehen ist.
- 20
9. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Trageelement hohl ist.
- 25
10. Supraleitendes Element nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Trageelement massiv ist.
- 30
11. Supraleitender Kabelleiter nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Trageelement aus einem elektrisch leitenden Material besteht.
12. Supraleitender Kabelleiter nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Trageelement eine Ringwellung oder spiralförmige Wellung aufweist.

Supraleitender Kabelleiter mit SEBCO-beschichteten Leiterelementen

Die vorliegende Erfindung betrifft einen supraleitenden Kabelleiter mit einem
5 supraleitenden Material auf Basis von Seltenerd-Bariumcupraten, wobei das
Supraleitermaterial schichtförmig auf einem bandförmigen Substrat aufgebracht
ist. Insbesondere betrifft die Erfindung einen derartigen supraleitenden Kabel-
leiter für AC-Anwendungen.

10 Supraleitende Kabelleiter sind üblicherweise aus einem im Allgemeinen zylind-
derförmigen Trageelement mit darauf schraubenförmig aufgewickelten supra-
leitenden Drähten als supraleitende Leiterelemente aufgebaut.

Das Trageelement kann aus einem leitenden oder nicht leitendem Material be-
15 stehen und ist üblicherweise flexibel ausgestaltet.

Auf diesem Trageelement sind die supraleitenden Leiterelemente in einer oder
mehreren Lagen schraubenförmig aufgewickelt. Jede einzelne Lage wird erhal-
ten, indem mehrere, zum Beispiel bandförmige, supraleitende Leiterelemente
nebeneinander auf das Trageelement oder auf eine bereits auf das Träger-
20 element aufgewickelte Schicht aufgewickelt werden.

So beschreibt EP 0 650 205 B2 einen mehrschichtigen supraleitenden Kabel-
leiter für Wechselstromanwendungen, wobei als Leiterelemente Multifilament-
Drähte eingesetzt werden.

25 Die Multifilament-Drähte enthalten eine Vielzahl von filamentförmigen Kernen
aus einem Supraleitermaterial, die in eine Matrix aus einem normalleitenden
Metall, insbesondere Silber, eingebettet sind. Zur Vermeidung von Wechsel-
stromverlusten aufgrund von Wirbelströmen und Kupplungsströmen sind
zwischen den einzelnen Lagen aus supraleitenden Drähten isolierende Lagen
30 aus einem Isoliermaterial vorgesehen.

Die supraleitenden Drähte werden erhalten, indem zum Beispiel pulverförmiges
Ausgangsmaterial, das durch geeignete thermische Behandlung in das ge-
wünschte Supraleitermaterial überführt werden kann, in eine Hülle aus einem

normalleitenden Metall, vorzugsweise Silber, eingefüllt wird. Die mit dem pulverförmigen Ausgangsmaterial gefüllte Hülle wird einer plastischen Verformung mit Ziehen und Walzen zur Ausbildung eines langen Filaments mit kleinem Durchmesser unterzogen und anschließend gesintert. Die erhaltenen einzelnen Filamente werden zu einem Bündel aus einer Vielzahl einzelner Filamente zusammengefasst und zusammen in eine weitere Hülle gegeben, die wiederum einer plastischen Verformung und Sinterung unterzogen wird. Im Resultat wird ein supraleitender Multifilament-Draht mit der gewünschten Anzahl an Filamenten in einer Metallmatrix erhalten. Vorzugsweise weist der fertige Multifilament-Draht eine Bandform auf.

Durch die vorstehend beschriebene Behandlung erhält das supraleitende Material die gewünschte hohe Orientierung, wobei die kristallographische c-Achse im Wesentlichen senkrecht zur Stromflussrichtung und die a-b-Ebene parallel zur Stromflussrichtung weist. Die Orientierung sollte vorzugsweise über die gesamte Erstreckung des supraleitenden Materials möglichst homogen sein.

In Abhängigkeit des Durchmessers des Trageelements, auf das der Multifilament-Draht aufgewickelt wird, sowie der Schlaglänge der einzelnen Windungen werden auf die Drähte während des Aufwickelns und im ausgewickelten Zustand Kräfte durch Biegedehnung und Zugspannung ausgeübt. Hierdurch kann es zu einer Beeinträchtigung der Orientierung der supraleitenden Phase und damit zu einer Reduzierung der supraleitenden Eigenschaften kommen.

Um eine möglichst große Freiheit in Bezug auf den Durchmesser des Trageelements sowie die Schlaglänge der Wickelung und damit auf die Kabelkonstruktion erhalten zu können, ist daher ein supraleitendes Kabel wünschenswert, bei dem auch bei größerer Biegung zum Beispiel bei kleinem Durchmesser das Trageelement und/ oder kleiner Schlaglänge, und höherem Zug keine Degradation der supraleitenden Drähte auftritt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch einen supraleitenden Kabelleiter gelöst, der ein Trageelement enthält, auf das mindestens eine Lage aus zwei

oder mehreren supraleitenden Leiterelementen aufgewickelt ist, wobei die einzelnen supraleitenden Leiterelemente jeder Lage nebeneinander angeordnet sind, und die supraleitenden Leiterelemente ein bandförmiges Substrat, das mit einem supraleitenden Material auf Basis von Seltenerd-Bariumcuprat beschichtet ist, enthalten.

Nachfolgend werden die erfindungsgemäß verwendeten supraleitenden Leiterelemente aus einem bandförmigen Substrat, das mit einem supraleitenden Material auf Basis von Seltenerd-Bariumcuprat beschichtet ist, auch „SEBCO-beschichtete Leiterelemente“ mit SE= ein oder mehrere Seltenerdelemente einschließlich Lanthan und Yttrium oder „beschichtete Leiterelemente“ genannt.

Wie bei den anfangs beschriebenen supraleitenden Multifilament-Drähten hängt auch hier die Qualität der supraleitenden Eigenschaften vom Ausmaß der Orientierung der supraleitenden Kristalle in der Schicht ab. Zur Erzielung eines hohen kritischen Stroms, hohen Stromdichte und Stromtragfähigkeit ist es daher vorteilhaft, wenn das supraleitende Material in dem beschichteten Leiterelement eine möglichst hohe biaxiale Orientierung (Texturierung) aufweist, wobei die kristallographischen c-Achsen der einzelnen supraleitenden Kristalle senkrecht oder im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche des bandförmigen Substrats und die a-b-Ebenen parallel oder im Wesentlichen parallel zur Oberfläche des bandförmigen Substrats angeordnet sind, sodass die a-b-Ebenen in die Flussrichtung des Stroms weisen.

Beschichtete Leiterelemente wie sie erfindungsgemäß eingesetzt werden, Verfahren zu deren Herstellung, hierfür geeignete Vorläufermaterialien zur Ausbildung des supraleitenden Materials und geeignete Substrate sind Fachleuten allgemein bekannt und zahlreich in der Literatur beschrieben. Beispielhaft wird hierzu auf N. McN Alford et al., „Topical review: High-temperature superconducting thick films“, in Supercond. Sci. Technol. 10 (1997) 169-185, J. L. MacManus-Driscoll „Recent developments in conductor processing of high irreversibility field superconductors“ in Annu. Rev. Mater. Sci. Band 28 (1998) Seiten 421 bis 462 und WO 98/58415 verwiesen.

Die gewünschte Texturierung der supraleitenden Schichten wird hierbei durch den Einsatz spezifischer Substrate erzielt, wobei die Eigenschaften des Substrats, insbesondere dessen Textur, die Orientierung der in der supraleitenden

5 Schicht wachsenden Kristalle bewirken.

Geeignete Verfahren und Materialien zur Herstellung von beschichteten Leiter-
elementen wie sie erfindungsgemäß eingesetzt werden können, wobei eine
Schicht aus supraleitendem Material auf einem Substrat abgeschieden wird, sind

10 zum Beispiel das Ion-Beam-Assisted Deposition-(IBAD) oder Assisted Biaxially
Textured Substrates-(RABiTS) Verfahren wie sie zum Beispiel bei Y. Jijima et al.,
„In-plane aligned YBCO thin films deposited on polycrystalline metal substrates“,
in Appl. Phys. Lett. 60 (1992) Seite 769 für IBAD und A. Goyal et al. „Fabrication
of long range, biaxially textured, high Tc superconducting tapes“ in Appl. Phys.

15 Lett. 69 (1996), Seite 1795 für RABiTS beschrieben sind.

Weitere geeignete Abscheidungsverfahren sind die gepulste Laserabscheidung
(pulsed laser deposition PLD) wie es zum Beispiel in A. Usoskin et al., EUCAS
99, Seite 447 und von S.R. Foltyn et al., in IEEE Trans. on Applied Super-
cond., 9, (1999), Seite 1519 beschrieben ist und das lösungsgestützte (Sol-Gel)

20 Verfahren wie es zum Beispiel von M. P. Siegel et al., in Appl. Phys. Lett., Band
80, Nr. 15 (2002) Seiten 2710 bis 2712 beschrieben ist. Ein weiteres geeignetes
Verfahren ist das sogenannte BaF₂- Verfahren, wie es zum Beispiel von S. W. Lu
et al. in Supercond. Sci. Technol., 14 (2001) Seiten 218 bis 223 beschreiben ist,

25 wobei dem Ausgangsmaterial für die Ausbildung des Supraleitermaterials Fluor
in Form von BaF₂ zugesetzt wird.

Als Substrat für das erfindungsgemäß einzusetzende beschichtete Leitelement
kann ein beliebiges Substrat verwendet werden, sofern es weder das Supra-
leitermaterial der Schicht negativ beeinflusst noch durch die Verarbeitungs-
prozesse zur Ausbildung der supraleitenden Schicht beeinträchtigt wird. Bei-
spiele für Substrate sind einkristalline Keramiken, polykristalline Keramiken oder
Metalle.

30

Die Querschnittsform des bandförmigen Substrats kann prinzipiell beliebig ausgewählt werden. Der Querschnitt kann zum Beispiel rechteckig, quadratisch, oval, rund, mehreckig, trapezförmig etc. geformt sein. Eine im Wesentlichen rechteckige Form ist jedoch im Allgemeinen bevorzugt.

Es versteht sich, dass für die erfindungsgemäß einzusetzenden supraleitenden Leiterelemente Substrate mit einer ausreichenden Flexibilität für die gewünschte Kabelanwendung zu verwenden sind.

10

Zwischen der supraleitenden Schicht und dem Substrat können eine oder mehrere dünne Zwischenschichten als Pufferschicht vorgesehen sein.

Die Pufferschicht verhindert, dass das Substratmaterial in unerwünschter Weise mit dem supraleitenden Material reagiert.

15

So sollte zum Beispiel bei Verwendung von Metallen als Substraten eine geeignete Pufferschicht aus einer Keramik vorgesehen sein.

Beispiele für geeignete Materialien für die Pufferschicht sind Zirkonoxid, stabilisiertes Zirkonoxid wie zum Beispiel mit Yttriumoxid stabilisiertes Zirkonoxid (YSZ), CeO_2 und MgO , aber auch SrTiO_3 , LaAlO_3 .

20

Als supraleitendes Material wird für die vorliegende Erfindung ein supraleitendes oxidisches Material auf der Basis von Seltenerd-Bariumcupraten eingesetzt.

Die Seltenerd-Bariumcuprate enthalten mindestens ein Seltenerdelement (SE) ausgewählt unter Y, La, Ce, Pr, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und Lu, vorzugsweise Yttrium oder Yttrium in Kombination mit mindestens einem weiteren Seltenerdelement.

25

Besonders bevorzugte Verbindungen haben die allgemeine Formel

$\text{SEBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ mit $x \leq 0,5$.

30

Zusätzlich können die Seltenerd-Bariumcuprate mindestens ein weiteres Element ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Be, Mg, Ca, Sr, Zn, Cd, Sc, Zr, Hf, Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Ag, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Ti, S und F enthalten.

Insbesondere bevorzugt ist $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ mit $x \leq 0,5$ (auch Y1,2,3 genannt), das zusätzlich mindestens ein weiteres Seltenerdelement und/oder mindestens ein weiteres Element der vorstehend genannten Elementengruppe enthalten kann.

5

Zur Herstellung werden die Ausgangsmaterialien für das supraleitende Material, zum Beispiel nach einem der vorstehend genannten Verfahren, auf dem Substrat, das gegebenenfalls mit einer Pufferschicht versehen ist, abgeschieden und einer Wärmebehandlung unter kontrolliertem Aufschmelzen und Abkühlen zur Ausbildung der gewünschten supraleitenden 123-Phase unterzogen.

10

Es ist bekannt, dass das 123-Material aus einem Material der Zusammensetzung Se_2BaCuO , dem sogenannten 211-Material, durch kontrolliertes Aufschmelzen und Abkühlen erhalten werden kann.

15

Gemäß einem bevorzugten Verfahren erfolgt die Texturierung unter Ausnutzung der unterschiedlichen peritektischen Erstarrungstemperatur von 123-Materialien mit unterschiedlichen Seltenerdelementen.

20

Hierzu werden mindestens zwei 211-Materialien, die sich in der SE-Komponente unterscheiden, streifenförmig entlang der Längsrichtung auf einem bandförmigen Substrat angeordnet, wobei die aneinander grenzenden Längskanten der Streifen aus 211-Material in Kontakt stehen.

25

Auf den Streifen aus den zwei verschiedenen 211-Materialien wird zur Einstellung der Stöchiometrie des auszubildenden 123-Materials eine entsprechende Schicht aus Bariumcuprat und/oder Kupferoxid aufgebracht, die die Streifen zumindest teilweise bedeckt. Da das Bariumcuprat und/oder Kupferoxid eine niedrigere Schmelztemperatur als die 211-Materialien hat, schmilzt es während einer anschließenden Wärmebehandlung als erstes. Die gebildete Schmelze infiltriert die darunter liegenden Ausgangsmaterialien wobei sich diese zumindest teilweise in der Schmelze lösen. Aus dieser partiellen Schmelze mit

30

dem Bariumcuprat/Kupferoxid als Flüssigphase mit gelöstem festen 211-Material bildet sich beim Abkühlen das gewünschte 123-Material.

5 Gleichzeitig findet ein Wanderungsvorgang der Seltenerdelemente aufgrund von Diffusions- und Schmelzprozessen statt, wobei sich Konzentrationsgradienten für die jeweiligen Seltenerdelemente der Ausgangsmaterialien in entgegengesetzter Richtung quer zu dem Streifen ausbilden.

10 Beim langsamen isothermen Abkühlen schreitet die Erstarrungsfront von der Seite mit dem 123-Material mit der höchsten Erstarrungstemperatur zur Seite mit dem 123-Material mit der niedrigsten Erstarrungstemperatur voran, wobei eine biaxiale Orientierung der sich ausbildenden Kristalle erfolgt.

15 Vorzugsweise wird auf der Seite, auf der sich das 123-Material mit der höheren Erstarrungstemperatur ausbildet, als Initiator ein Streifen aus einem 123-Material angeordnet, wobei das Seltenerdelement für dieses 123-Material so gewählt wird, dass die Erstarrungstemperatur des 123-Materials höher ist, als die Erstarrungstemperatur der sich ausbildenden 123-Materialien.

20 Hierbei bildet auch dieses Seltenerdelement einen Konzentrationsgradienten in Richtung zu dem auf der gegenüberliegenden Seiten angeordneten 211 Ausgangsmaterial aus.

25 Eine geeignete Materialkombination besteht aus einer Anordnung von Nd123, Y211 und Yb211 in dieser Reihenfolge, wobei für die peritektischen Erstarrungstemperaturen T_p gilt: $T_p \text{ Nd123} > T_p \text{ Y123} > T_p \text{ Yb123}$.

30 Nach diesem Verfahren können biaxial texturierte Schichten mit einer Dicke von 1 μm und insbesondere 5 μm und mehr erhalten werden, wobei eine ausgezeichnete biaxiale Orientierung auch ohne entsprechende Vororientierung der Substrate möglich ist. Es ist daher nicht erforderlich Substrate einzusetzen, die eine Gitteranpassung an die auszubildende biaxiale Texturierung enthalten.

Eine weitere Ausführungsform für das vorstehend beschriebene Verfahren zur Herstellung von insbesondere biaxial texturierten supraleitenden Schichten, wo-

bei die Texturierung unabhängig von dem Substrat erfolgt, ist in DE 101 28 320 C1 beschrieben, auf das hier vollinhaltlich verwiesen wird. Auch hier erfolgt die Ausbildung eines Konzentrationsgradienten und damit eines Temperaturgradienten durch Zusatz von weiteren Seltenerdelementen.

5

Mit vorstehend beschriebenen Verfahren unter Ausnutzung von Temperaturgradienten können polykristalline Schichten mit großen biaxial ausgerichteten Kristallen bis hin zu einkristallinen Schichten erhalten werden. Vorzugsweise beträgt die Fehlorientierung der Kristalle in der Schicht nicht mehr als 7°.

10 Derartige Schichten sind für supraleitende Anwendungen besonders bevorzugt.

Den Kern des erfindungsgemäßen supraleitenden Kabelleiters bildet das Trageelement. Für die vorliegende Erfindung können prinzipiell die für die Herstellung von supraleitenden Kabelleitern an sich bekannten Trageelemente eingesetzt werden. Üblicherweise ist das erfindungsgemäß eingesetzte Trageelement im Wesentlichen zylinderförmig.

Das Trageelement kann als Rohr oder als massives Kernelement ausgebildet sein.

20 Ist es als Rohr ausgebildet, kann der Hohlraum im Inneren des Rohrs als Kanal für das Kühlmedium eingesetzt werden. Der Hohlraum wird von dem Kühlmedium durchflossen, das dabei die beim Einsatz des supraleitenden Kabels entstehende Verlustwärme abtransportiert.

25 Das Trageelement kann generell aus einem Metall oder Kunststoff gebildet sein, und weist üblicherweise eine geringe elektrische Leitfähigkeit auf. Sofern die erforderliche Flexibilität gegeben ist, kann auch ein beliebiges anderes geeignetes Material eingesetzt werden.

30 Gemäß einer besonderen Ausführungsform kann das Trageelement jedoch als massives Kernelement aus einem elektrischen Leiter ausgebildet sein. In diesem Fall kann das elektrisch leitende Kernelement im Kurzschlussfall, wenn die

supraleitende Schicht in den normalleitenden Zustand übergeht, den Strom tragen und so eine Beschädigung der supraleitenden Schicht vermieden werden.

Wesentlich ist, dass das Trageelement flexibel ist. Dies kann erreicht werden, indem das Trageelement eine Ring- oder Spiralwellung aufweist.

Hierbei sind die einzelnen Wellen entlang der Längserstreckung des Trageelements im Falle der Ringwellung parallel beziehungsweise im Falle der Spiralwellung schräg zum Querschnitt des Trageelements angeordnet.

Das Trageelement kann aber auch als Wendel ausgebildet sein.

10

Bei Bedarf kann das Trageelement eine Armierung aus einem Metall- oder Kunststoffgeflecht, zum Beispiel aus einem Edelstahlgeflecht, aufweisen.

Weiter kann das Trageelement eine Bebänderung aus Metall- oder Kunststoffbändern, zum Beispiel einem Edelstahlband, aufweisen, die schraublinienförmig nebeneinander auf das Trageelement gewickelt sind. Hierdurch kann eine mechanische Verstärkung des Trageelements bewirkt werden. Gleichzeitig dient die Armierung beziehungsweise die Bebänderung zur Ausbildung einer glatten Oberfläche als Auflage für die beschichteten Leiterelemente.

20 Besteht die Armierung aus einem metallisch leitendem Material kann sie ebenfalls zur Aufnahme von Kurzschlussströmen dienen.

Bei Bedarf kann eine Polsterung vorgesehen sein. Hierzu können ein oder mehrere Lagen halbleitfähiges oder isolierendes Band auf das Trageelement aufgebracht werden, die schraublinienförmig mit oder ohne Überlappung auf das Trageelement aufgewickelt werden.

Zur Ausbildung der einzelnen Lagen werden mehrere beschichtete Leiterelemente nebeneinander schraublinienförmig auf das Trageelement beziehungsweise auf eine entsprechende darunter liegende Lage aus beschichteten Leiterelementen aufgewickelt.

30

Die einzelnen Lagen können gleichsinnig oder in entgegengesetztem Sinn auf das Trageelement aufgewickelt sein.

Zudem können alle oder einzelne Lagen unterschiedliche Schlaglängen beziehungsweise Winkel für die Wickelung aufweisen. Durch die Auswahl der Wickelrichtung und/oder der Winkel der Wickelung lässt sich eine gleichmäßige Stromverteilung über die einzelnen Lagen erzielen. Dies ist für Anwendungen mit Wechselstrom von Bedeutung, da hier ohne entsprechende Maßnahmen eine ungleichmäßige Stromverteilung über die einzelnen Lagen auftreten kann, wobei die Strommenge, die in den einzelnen Lagen fließt, unterschiedlich ist.

Fließt zum Beispiel in einer Lage ein sehr hoher Strom, besteht die Gefahr, dass der kritische Grenzwert überschritten wird.

Da die erfindungsgemäß eingesetzten beschichteten Leiterelemente mit einer supraleitenden Schicht auf Basis eines Seltenerd-Bariumcuprats auch einer höheren Biegedehnung und einem größeren Zug standhalten können, ohne dass eine Degradation und damit Beeinträchtigung der Orientierung des supraleitenden Materials eintritt, können erfindungsgemäß supraleitende Kabel erhalten werden, die ein Trageelement mit geringem Durchmesser aufweisen können.

Aufgrund des möglichen geringen Durchmessers des Trageelements lassen sich bei vergleichbaren supraleitenden Eigenschaften dünnere Kabel erhalten beziehungsweise bei vergleichbarer Dicke mit herkömmlichen Kabeln auf Basis von Multifilamen-Drähten weisen die erfindungsgemäßen Kabel einen höheren supraleitenden Querschnitt auf.

Auch kann die Schlaglänge in größerem Maße variabel gewählt werden.

Durch die hierdurch möglich werdenden größeren Freiheitsgrade bei der Ausgestaltung des Kabels kann das Kabel je nach Bedarf möglichst exakt für die jeweilige Anwendung ausgestaltet werden. Von besonderem Vorteil ist, dass insgesamt dünnere Kabel erhalten werden können, die dennoch ausreichende supraleitende Eigenschaften aufweisen.

Zudem wird eine größere Variationsbreite der Winkel für die Wicklung möglich, sodass eine optimale Abstimmung der Winkel für die einzelnen Lagen möglich ist für die Erzielung einer gleichmäßigen Stromverteilung über die Lagen.

- 5 Im folgenden werden konkrete Beispiele für die Ausgestaltung eines erfindungs-
gemäßen supraleitenden Kabelleiters beziehungsweise für hierfür einsetzbare
supraleitende Leiterelemente angegeben wie sie üblicherweise verwendet wer-
den können. Es versteht sich, dass je nach Bedarf und Anwendung von den hier
lediglich beispielhaft genannten Angaben Abweichungen möglich sind und von
10 der Erfindung mitumfasst sind.

Aufbau der supraleitenden Leiterelemente

Dicke des Substrats: ca. 0,025 mm bis ca. 2 mm

Breite des Substrats: ca. 10 mm

- 15 Dicke der supraleitenden Schicht: ca. 1 μm bis 5 μm

Pufferschicht: ca. 1 μm

Besteht das Substrat zum Beispiel aus Nickel oder einer Ni-Legierung wird als
Pufferschicht bevorzugt ZSY eingesetzt.

- 20 Die Anzahl der supraleitenden Leiterelemente je Lage bestimmt sich im Allge-
meinen nach dem äußeren Durchmesser des Trageelements und der Band-
breite. So können zum Beispiel für ein Trageelement mit einem Durchmesser
von 25 mm 7 Leiterelemente wie sie vorstehend beschreiben sind, je Lage und
mit 30 mm 9 Bänder je Lage eingesetzt werden. Eine übliche Lagenanzahl liegt
25 bei 4 bis 6.

- In einem Kabelleiter mit 4 Lagen können zur Erzielung einer gleichmäßigen
Stromverteilung die Lagen 1 und 2 gleichsinnig aber in unterschiedlichen Win-
keln und die Lagen 3 und 4 im dazu entgegengesetzten Sinn, ebenfalls in unter-
30 schiedlichen Winkeln, gewickelt sein.

Mit einem erfindungsgemäßen Kabelleiter zum Beispiel mit einer wie vorstehend beschriebenen Ausgestaltung, lassen sich Stromdichten von 1.000.000 bis 3.000.000 A/cm² erhalten.

- 5 Zur Vermeidung von elektrischen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Lagen aus beschichteten Leiterelementen kann zwischen jeder Lage oder nach einer bestimmten Anzahl von Lagen eine elektrisch isolierende Schicht vorgesehen sein.

- 10 Diese Schicht kann aus einer Folie oder einem Band aus einem Isoliermaterial gebildet sein. Ein Band kann ebenfalls schraublinienförmig auf die entsprechende Lage aus beschichteten Leiterelementen auf an sich bekannte Weise aufgewickelt sein.

- 15 Bei Bedarf kann zwischen dem Trageelement und der ersten Lage aus supraleitendem Leiterelementen eine elektrisch isolierende Schicht vorgesehen sein. Geeignete Materialien für diese Schicht sind die selben wie vorstehend für die Isolierschichten genannt sind, die zwischen den einzelnen Lagen aus supraleitenden Leiterelementen angeordnet sind.

- 20 Auch können einzelne Leiterelemente einer Lage, Gruppen von mehreren Leiterelementen einer Lage oder alle Leiterelemente einer Lage von einander elektrisch isoliert sein.

Hierzu kann zwischen den entsprechenden Leiterelementen ein Isoliermaterial vorgesehen sein.

- 25 Beispielsweise kann ein Band aus einem Isoliermaterial parallel zu den Leiterelementen einer Lage gewickelt werden, so dass das Band zwischen den einzelnen Leiterelement-Strängen verläuft und diese voneinander trennt.

- 30 Als Material für die elektrische Isolierung zwischen den einzelnen Lagen, zwischen Trageelement und supraleitender Wicklung und zwischen den Leiterelementen einer Lage kann an sich ein beliebiges geeignetes elektrisch isolierendes Material eingesetzt werden.

Beispiele sind Kunststoffe, Papier oder mit Kunststoff laminiertes Papier sowie andere hierfür bekannte Materialien. Die vorstehend beschriebenen Isolierungen, d. h. zwischen den supraleitenden Lagen, Lage und Trageelement und zwischen den Leiterelementen einer Lage, können auch miteinander kombiniert eingesetzt werden.

Nachstehend wird ein Beispiel für die Herstellung eines bevorzugten beschichteten Leiterelements gegeben. Die Herstellung wird hierbei beispielhaft an einem Bandstück aus AgPd12,5 (Palladium in Gewichtsprozent) als Substrat mit einer Länge von ca. 5 cm, einer Dicke von ca. 100 µm und einer Breite von ca. 2 cm erläutert. Es versteht sich jedoch, dass das Verfahren auch auf Substrate mit anderen Abmessungen wie sie vorstehend beispielhaft genannt worden sind, anwendbar ist.

- 15 Die Ausgangsmaterialien lagen als Pulver mit einem mittleren Teilchendurchmesser im Bereich von 1 bis 50 µm vor.

Auf das Trägermaterial wurde mit Pinseln oder mittels eines Airbrushs nebeneinander eine 1 mm breite Linie aus Nd123 (1) (5 cm lang, insgesamt etwa 40 mg Nd123) eine 5 mm breite Linie aus Y211 (2) (5 cm lang, insgesamt etwa 200 mg Y211) und eine zwei Millimeter breite Linie aus Yb211 (3) (5 cm lang, insgesamt etwa 90 mg) nebeneinander so angeordnet, dass benachbarte Längskanten in Kontakt zueinander standen. Der entstandene Streifen wurde mit einer Schicht aus insgesamt 400 mg an Ba₂Cu₃O₅ abgedeckt.

- 25 Das so beschichtete träge Material wurde in Luft in einem handelsüblichen Kammerofen aus einem Al₂O₃-Block platziert und der folgenden Wärmebehandlung unterzogen.

Starttemperatur	Heizrate	Zieltemperatur	Haltezeit
Raumtemperatur	500 °C/h	500 °C	2h
500 °C	500 °C/h	975 °C	1h
975 °C	0,5 – 1 °C/h	950°C	0 min
950 °C	100 °C/h	Raumtemperatur	

Während des ersten Schrittes dieser Wärmebehandlung wurden vornehmlich die verwendeten Lösungsmittel, Wasser mit 2 Gew% Polyvinylalkohol (PVA), verdampft.

5

Während des zweiten Schritts der Wärmebehandlung schmolz die Mischung aus Silber, Bariumcuprat und Kupferoxid – die Flüssigphase – auf und bildete eine dotierte Bariumcupratschmelze, die die darunter liegenden, nebeneinander angeordneten Ausgangsmaterialien infiltrierte. Die Ausgangsmaterialien (1), (2) und (3) wurden zumindest teilweise von dieser Flüssigphase gelöst. Es bildete sich ein Konzentrationsgradient von Neodym aus, welcher von Ausgangsmaterial (1) ausgehend in Richtung Ausgangsmaterial (3) wies. Umgekehrt bildete sich außerdem ein Gradient der Konzentration von Ytterbium, welcher von Ausgangsmaterial (3) ausgehend in Richtung Ausgangsmaterial (1) wies.

10

15

Aufgrund der unterschiedlichen peritektischen Erstarrungstemperaturen T_p für unterschiedliche Supraleiter $(SE)Ba_2Cu_3O_{7-x}$ mit $T_p(Nd123) > T_p(Y123) > T_p(Yb123)$ ergab sich im Gesamtsystem infolge des oben erwähnten Konzentrationsgradienten ein Gradient der Erstarrungstemperatur. Dadurch wurde bei dem räumlich isothermen, langsamen Abkühlen im Schritt 3 ein gerichtetes Wachstum der Supraleiterkristalle parallel zu dem Gradienten der Erstarrungstemperatur begünstigt.

20

25

Zur Herstellung der Supraleitfähigkeit wurden die erhaltenen Proben für 50 bis 100 Stunden in einer Atmosphäre mit 1 bar Sauerstoffpartialdruck auf 500 °C erhitzt. In diesem Verfahrensschritt wurde der Sauerstoffgehalt der Proben dahingehend optimiert, dass x in $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ minimal auf jeden Fall jedoch kleiner als 0,5 wird. Die Heiz- und Kühlraten der Sauerstoffbehandlung betrugen etwa 100 °C/h.

30

Die Dicken der erhaltenen Dickschichten lagen typischerweise im Bereich zwischen 10 und 15 µm.

Zusammenfassung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen supraleitenden Kabelleiter der ein Trage-
element enthält, auf dem mindestens eine Lage aus zwei oder mehreren supra-
5 leitenden Leiterelementen aufgewickelt ist, wobei die einzelnen Leiterelemente
jeder Lage nebeneinander angeordnet sind, und die supraleitenden Leiter-
elemente gebildet sind aus einem bandförmigen Substrat, das mit einem supra-
leitenden Material auf Basis von Seltenerd-Bariumcuprat, vorzugsweise auf
Basis von Yttrium-Bariumcupraten, beschichtet ist.